

第一篇

实验测试基础知识

实验测试基础知识

一、测量的基本概念

所谓“测量”，就是利用专用设备把被测物理量同标准量进行比较，判定被测量值是标准量的多少倍，从而确定被测量大小的过程。测量是定量的基础，是实验的重要环节。

进行各种测量所需的全部仪器、设备统称为测量仪器。

电路实验中的被测物理量大致分为如下两类。

一类是表征电信号特征的量，如电流、电压、频率、周期等。它们可直接送入测量设备与同类标准量进行比较，或者在测量设备中经某种变换（如幅度变换、频率变换、波形变换等）后，再与标准量比较，最后由显示部件指示出测量结果。其测量过程如图 1 所示。

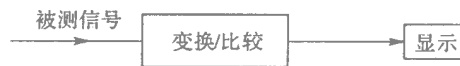


图 1 信号特征的一般测量过程

另一类是表征各种元器件及电路系统电磁特性的量，如电阻、电感、电容、阻抗、传输特性等等，它们只有在一定的信号作用下才显示出其固有的特性。例如，只有在电压或电流激励下，电阻器才表现出其电阻的作用。这类物理量的一般测量过程如图 2 所示。



图 2 系统特性的一般测量过程

把已知电信号加于被测元件或系统的输入端，然后分别测量输入信号与输出信号，就可得到被测件的特性，这实际上是一种间接测量方法。

从上述测量过程可见，测量仪器应该包括电信号特性测试仪（如电压表、电流表、频率计等）、测试信号源（如低频信号发生器、脉冲信号发生器、高频信号发生器、功率函数信号发生器、直流稳压电源等）以及由测试信号源与电信号特性测试仪组成的组合式仪器（如扫频仪、示波器等）。

无论使用何种仪器去测量何种物理量，测量结果总是根据仪器示值确定的。所谓仪器示值，就是由仪器的装置给出的被测量的数值。如果进行单次测量，通常取仪器示值为测量结果。如果相同的测量进行多次，则测量结果就取各次测量所得仪器示值的算术平均值。

再好的仪器，再精确的测量，仪器示值和测量结果与被测量的真实值之间总会存在一些误差。我们把测量仪器的示值与被测量真实值之间的误差叫做仪器误差，把测量结果与被测量的真实值之间的误差叫做测量误差。当测量结果等于仪器示值时，测量误差就是仪器误差。

1. 测量误差的定义

人们进行测量时，总希望能取得被测量的真实数值。真实数值是客观存在的，通常称之为“真值”记为 A_0 。

要完成测量任务，必须要有测量仪器、测量方法和进行测量的人员三个条件。但即使这三个条件具备，测量结果也可能不是绝对完善和准确无误的，加上外界环境造成的影响，这就导致测量所得数值并非是真值的真值，而只能是它的近似值，两者之间存在一定的误差，记为 ΔX ，它可表示为

$$\Delta X = \text{测量所得数值 } X - \text{真值 } A_0 \approx X - \text{实际值 } A$$

用这种方法表示的误差 ΔX 称为“绝对误差”。测量值大于真值时，绝对误差为正，测量值小于真值时，绝对误差为负。由于真值是无法测得的，通常将更高一级的标准仪器所测得的值 A 称为“实际值”，用它来替代真值。应用绝对误差来表征测量的准确度是不完善的。例如对于两个电压值，其实际值和绝对误差如下：

$$\begin{aligned} U_1 &= 1000\text{V} & \Delta U_1 &= 1\text{V} \\ U_2 &= 10\text{V} & \Delta U_2 &= 0.1\text{V} \end{aligned}$$

从绝对误差来看， ΔU_2 比 ΔU_1 小，似乎对 U_2 的测量准确度要高于 U_1 ，其实不然。为了客观地反映测量的准确度，常采用“相对误差”的表示方法，它是绝对误差 ΔX 与实际值 A 的百分比值，即

$$\text{相对误差} = \text{绝对误差 } \Delta X / \text{实际值 } A \times 100\%$$

由此可计算出对 U_1 测量的相对误差为

$$\frac{1}{1000} \times 100\% = 0.1\%$$

而对 U_2 测量的相对误差为

$$\frac{0.1}{10} \times 100\% = 1\%$$

计算结果说明，虽然 ΔU_1 比 ΔU_2 大，但是对 U_1 测量的相对误差比对 U_2 测量的相对误差要小，也就是说对 U_1 的测量准确度要高，这与事实是相符合的。因此常用相对误差来表示测量的准确度。

2. 误差的种类和来源

系统误差 特点为在一定条件下，误差的数值保持恒定或按某一确知的规律变化。前者称为恒值系统误差，后者称为变值系统误差。

系统误差的来源有：

(1) 测量仪器本身不准确，引起基本误差（仪器本身固有的）和附加误差（工作条件如温度、湿度、外界电磁场变化所引起的）。

(2) 测量方法不当。

(3) 操作人员的习惯和偏向以及人们感觉器官不完善而造成的误差。

(4) 测量环境变化引起的误差。

系统误差的大小反映了测量结果偏离真值的程度，系统误差越小，测量结果越准确。由于系统误差是具有一定规律的，总可以通过实验和研究来发现它的规律，从而设法加以消除或减小。

偶然误差特点是进行重复测量时，误差的大小和正负完全是随机的。这种误差服从统计规律，满足正态分布，如图 3 所示。

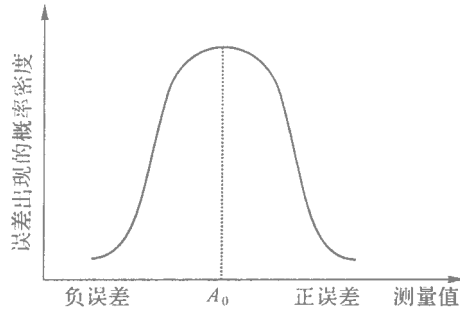


图 3 测量分布规律

偶然误差的来源包括供电的突然起伏、环境温度突然变化、室外车辆通过造成的振动等，它们是无法预测的。但是当测量次数为无穷多次时，其绝对误差的平均值趋于零。若真值为 A_0 ，各次测量值为 X_1, X_2, X_3, \dots ，每次测量的绝对误差为 $\Delta X_1, \Delta X_2, \Delta X_3, \dots$ ，则绝对误差的平均值为 $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i$ 。当测量次数 n 趋于无穷大时有 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i = 0$ 。

因此，对同一物理量进行多次重复测量并非多余的事，对多次测量所得数据进行适当处理，可减少偶然误差对测量结果的影响。

过失误差 特点是误差的数值很大，且又完全没有规律，是与实际情况显然不相符合的。它主要是由于实验操作者在操作、读数和记录中发生差错所引起的，相应于这种误差的测量数据是没有意义的，在作数据处理时应该舍去。只要测试人员能仔细地操作，就能避免出现这类误差。

因此，对同一物理量进行多次重复测量并非多余的事，对多次测量所得数据进行适当处理，可减少偶然误差对测量结果的影响。

过失误差 特点是误差的数值很大，且又完全没有规律，是与实际情况显然不相符合的。它主要是由于实验操作者在操作、读数和记录中发生差错所引起的，相应于这种误差的测量数据是没有意义的，在作数据处理时应该舍去。只要测试人员能仔细地操作，就能避免出现这类误差。

3. 测量数据的处理

(1) 读取测量数据的基本原则是最后一位有效数字是估计值，其余各高位均为确知的数字。测量结果中出现多余的有效数字时，应按如下舍入原则处理：当多余的有效数字大于 5 时则入，小于 5 时则舍；当此数字等于 5 时若其前一位为奇数则入 为偶数则舍。例如 将下列箭头左端的数按照上述舍入原则各删掉一位有效数字，则应得右端的数。

$$3.281 \rightarrow 3.28 \quad 5.376 \rightarrow 5.38 \quad 0.875 \rightarrow 0.88 \quad 0.825 \rightarrow 0.82$$

(2) 对直接测量的数据进行加减乘除运算时，运算结果小数点后有效数字位数只能保留到参加运算的几个数据中小数点后位数最少的数据位数。例如：

$$13.65 + 0.0082 + 1.632 = 15.2902 \rightarrow \text{结果为 } 15.29$$

$$3.54 \times 4.8 \times 0.5421 = 9.2114 \rightarrow \text{结果为 } 9.2$$

(3) 单次测量数据的处理：在很多情况下，只需对被测物理量进行一次测量。在进行直接测量时，仪表误差就是测量误差的最大值；若采用间接测量，误差可由直接测量的误差计算出来。设有两个测量数据 A, B 的绝对误差为 ΔA 和 $\Delta B, C$ 为 A 和 B 的运算结果，其绝对误差为 ΔC ，则有

$$C = A \pm B \rightarrow \Delta C = \Delta A + \Delta B$$

$$C = A \cdot B \rightarrow \Delta C = A \times \Delta B + B \times \Delta A$$

$$C = A/B \rightarrow \Delta C = (B \times \Delta A + A \times \Delta B) / B^2$$

(4) 重复多次测量数据的处理：多次测量，取算术平均值可以减少偶然误差对测量的影响。若测得 n 个数据 X_1, X_2, \dots, X_n 则其算术平均值 X 为

$$X = (X_1 + X_2 + \dots + X_n) / n$$

由偶然误差的特点可知，当测量次数 n 增加时，算术平均值越接近于真值，但事实上测量次数总是有限的，所以算术平均值和真值之间也总存在一定的差异。

二、基本测量方法

电路分析中的基本变量是电压、电流和功率等，它们也是表征电信号能量的三个物理量，其中最基本的测量任务是测量电压，多数有关的测量仪表是为此而设计的。对电流和功率的测量除可使用电流表和功率表外，也可用间接测量方法，通过测量电压后计算而得；或通过观测电阻器两端电压波形而得知其电流波形。

1. 电表法

(1) 电压的测量

电压表应并联在被测电路的两端，如图 4(a) 所示。

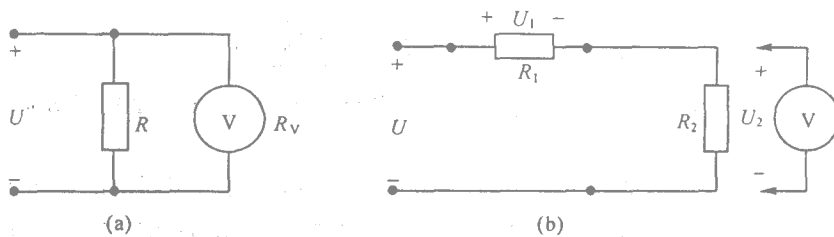


图 4 电压的测量

为了减少对被测电路原工作状态的影响，电压表的内阻 R_V 要远大于被测负载的电阻 R 。为了测量电路中的多处电压，一般电压表不接死在电路中，而用活动的测试棒进行测量，如图 4(b) 所示。

(2) 电流的测量

测电流时，电流表应串联在被测电路中，如图 5(a) 所示。

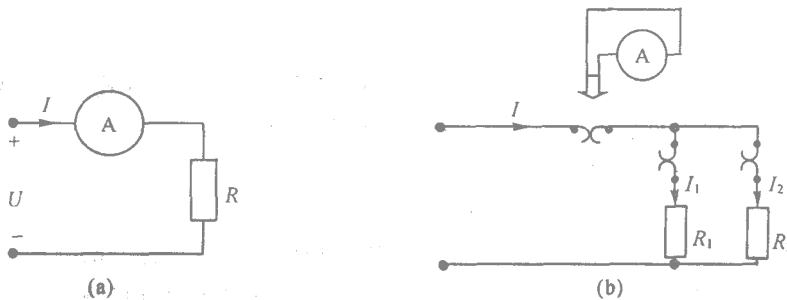


图 5 电流的测量

为了减少对被测电路原工作状态的影响，电流表的内阻一般做得很小，可忽略不计。

为了测量电路中多处的电流，可在需要的各支路中串接电流插孔，并在电流插孔两端跨接短路桥。当需测量该支路电流时，只需将电流表的测试棒插入该支路电流插孔两端，并将原插孔两端的短路桥拆去；当该支路电流测试完毕后，只需将短路桥插回原电流插孔两端，拆去电流表的测试棒即可。这样就可用一只电流表很方便地进行多支路电流的测量。如图 5(b) 所示。

无论是测量电压还是测量电流，量程的大小应在实验前进行估算，并根据估算值进行选择。量程的选择要恰当，量程选大了，读数偏小，引起的误差较大；量程选小了，仪器易过载而引

起“打针”，使仪器损坏。一般情况，指针式仪表的指针偏转角度大于 $1/2$ 满偏值时测量最准确。而数字式仪表测量值应尽可能靠近量程。对直流仪表，在使用时还应注意它的“+”“-”极性，切不可将指针式仪表的测试棒极性接反，否则指针反偏，易造成仪表指针或游丝损坏。

(3) 功率的测量

首先要注意的是量程的选择。选择不同的电压和电流量限，功率表的读数要乘以不同的倍率 C ，即 $P=C \times$ 指示的刻度值，倍率 C 代表了每格刻度的瓦数值。对于 D-26W 型功率表，其倍率如表 1 所示。

表 1 D-26W 型功率表倍率值

倍率 C		电流量限(A)		
		75	150	300
电压量限(V)				
0.5		0.25	0.5	1
1		0.5	1	2

在数值上，倍率 $C = \text{电压量限} \times \text{电流量限} / \text{满度格数}$ 。

其次，要注意功率表的正确接法：功率表的电流线圈接法与电流表相同，应与负载串联；电压线圈接法与电压表相同，应与负载并联。电流线圈标有（*）的端子，必须与电压线圈标有（*）的端子接于电路中的同一点，否则仪表指针将反偏。

关于功率表的接法请参阅实验八。

2. 示波器法

(1) 信号电压幅值的测量

用示波器观察和测量信号电压的优点是能直接显示被测信号的波形，因而不仅仅限于直流信号和正弦信号，对其他各种电信号都能方便地测出瞬时值。一般示波器可将被测信号的直流成分隔离出来，单独测量交流部分；频率特性从 DC 开始的示波器可同时显示直、交流成分混合的波形。用示波器测量电压的缺点是精度较低，误差一般约在 $5\% \sim 10\%$ 的范围。示波器测量信号电压幅值是采用比较法。在示波器荧光屏前都有一坐标刻度，其 X 轴表示时间，Y 轴表示信号的幅度，可先观察一已知幅度的直流或方波信号，如峰—峰值为 $5V$ 的方波，若它恰好在荧光屏刻度上占有 5 格位置，那么 Y 轴刻度的每一格就表示 $1V$ ，则此时示波器的偏转因数 V/DIV 旋钮的位置应打在“ $1V$ ”档。再对被测信号进行观察，（应保持 Y 轴放大和衰减不变），即可由被测信号幅度所占刻度的格数得出。

(2) 频率（或周期）的测量

将被测信号波形显示在示波器荧光屏上，根据 X 轴刻度读出被测信号波形的周期所占格数，即可计算出该信号的频率 f 。例如：若 X 轴扫描因数 T/DIV 旋钮置于 $0.1\mu s$ （即 X 轴每格代表 $0.1\mu s$ ），如果此时观察到一波形的周期在 X 轴上占有 6 格，则信号的周期为 $T = 0.1\mu s / \text{格} \times 6 \text{ 格} = 0.6\mu s$ ，则 $f = 1 / 0.6\mu s \approx 1.667\text{MHz}$ 。

(3) 相位差的测量

将同频率的信号电压 U_1, U_2 分别加到双踪示波器的 CH1, CH2 端，调节示波器相应通道的有关旋钮开关，并置垂直方式开关为“ALT”或“CHOP”状态，使在荧光屏上显示出稳定清晰的波形，并使两波形的基线与荧光屏的坐标横轴重合。然后读取信号波形一个周期在 X 轴上所占的格数 a 和两个波形经过零点的间隔在 X 轴上占有的格数 b ，用下式就可算出两波形的

相位差。

$$\psi = 2\pi \times \text{两信号零值间相位差的格数 } b / \text{信号一个周期的格数 } a$$

这种方法使用方便，但测量精度不高，一般误差达 $\pm 5^\circ$ 左右。

第二篇

实验的原则性指导

实验的原则性指导

一、电路分析实验的意义和任务

“电路分析基础”是应用电子技术、通信技术、计算机及自动化等涉电专业学生接触到的第一门电专业基础课，它与后继诸课程有着极其密切的联系，实为大学阶段学习和日后工作所需掌握的重要基础知识。实验课教学是一个必不可少的重要实践环节，它有其独立的教学体系，对培养学生的实际工作能力有着无法替代的作用。“电路分析实验”既作为“电路分析基础”课的补充，又可作为整个实验体系的先导，自然有其重要作用，所以我们把它作为一门独立开设的课程，并单独计算学分。

电路分析实验课的任务不只是一要验证和巩固所学的理论知识，而且要在实验中进一步学习和提高，进行实验操作技能的训练，从而培养学生的实际工作能力。在实验课中还强调电路的基本测量方法，要求掌握基本仪器仪表的使用，并进行实验的规范化基础训练。要求学生充分重视实验课教学，以严肃、严格、严密的科学态度和工作作风做好每一次实验。为此，对实验的各个环节，如预习、操作和实验总结报告的书写等提出一些具体要求。

二、实验的要求

1. 实验预习

- (1) 细读实验指导书，弄清实验所依据的基本原理。
- (2) 明确实验目的，了解实验方法与步骤。弄清要观察哪些现象、记录哪些数据、注意哪些问题。
- (3) 对实验指导书中给出的实验电路图，要仔细考虑测量中有什么要求，并估算各处电压、电流的数值，以便选择合适的仪器设备及合理的量程。

(4) 使用实验仪器设备之前，要仔细阅读有关的附录说明，大致掌握其使用方法。

(5) 写出预习报告。

2. 实验预习报告内容

实验预习报告应有以下内容：

- (1) 实验名称；
- (2) 实验目的；
- (3) 实验原理；
- (4) 实验仪器设备；
- (5) 必要的计算和一些预习思考题的回答；
- (6) 实验内容、步骤与线路；

(7) 原始数据记录表格；

(8) 实验注意事项。

3. 实验操作

(1) 合理放置仪器仪表，便于调节与读取数据。

(2) 合理选用电表的量程。

(3) 正确连接线路。

(4) 接通电源。

(5) 读取数据。

(6) 做好实验记录，包括测量数据、波形、实验现象等。

(7) 由实验指导教师检查数据正确后，方可拆除线路。

4. 安全操作须知

(1) 确认线路连接无误后，才可接通电源。

(2) 注意各种仪器仪表的正确使用。

(3) 电路在接通电源后，不可用手触及带电部分。

(4) 改接或拆除电路之前，必须将电源断开。

(5) 实验中如出现异常现象或事故，应立即切断电源，并及时向指导教师报告。

5. 实验总结报告

它是实验过程的全面总结，是评定实验成绩的重要依据，必须认真书写，其内容应包括：

(1) 实验数据的处理及有关计算；

(2) 曲线图或波形图的绘制；

(3) 实验指导书中相关实验总结题的回答；

(4) 实验结果的分析报告，包括实验结论（用具体数据和观察到的现象说明验证了哪些基本理论，是否达到了设计性实验要求等）；实验现象的解释和分析；必要的误差计算与分析；对实验的认识、收获以及改进意见等。

总之，在书写实验报告时，要求思路清晰、文字简洁；图表正规，清楚；尊重实验原始数据；计算无误，结论正确，并进行必要的分析与研究。

实验报告一律采用学校统一印制的电工电子实验报告纸，并于下一次实验时交给指导教师。要求每位同学用自己的理解来完成实验，切忌抄袭。

实验报告的封面上应写明：实验课名称、本次实验名称、实验者姓名、学号、实验指导教师、实验选课时间段、实验日期等内容。

注：下面的实验中前面加“*”号的为选做内容。

第三篇

实验内容

实验一 元件伏安特性的测试及电压源外特性的研究*

一、实验目的

1. 用实验的方法测量各种电阻元件的伏安特性，加深对线性电阻元件、非线性电阻元件概念的理解。
2. 掌握电压源外特性的测试方法，了解电源内阻对电源输出特性的影响。
3. 掌握实验装置上仪器仪表的使用方法。

二、实验仪器

序号	仪器名称	型号或规格	功能	编号	数量
1	电工电子实验台				
2	直流毫安表				
3	直流电压表				
4	直流稳压电源				
5	元器件若干				

三、实验原理及说明

1. 对于一个两端元件，如果在任一时刻的电压和电流之间存在代数关系（亦即这一关系可以用平面上的一条曲线表示），则此两端元件为电阻元件。这一关系即为该元件的伏安关系 VCR ，这一曲线亦称为该元件的伏安特性曲线。

电阻元件可以是线性或非线性，时变或非时变的。线性电阻元件的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线。如图 1-1 中曲线 a 所示，电阻值可由直线的斜率来确定，即 $R=u/i$ 是一个常数。

非线性电阻元件的伏安特性是一条曲线，其电阻值会随着其两端所加电压的不同或环境温度的改变而不同。如普通的白炽灯，其灯丝电阻会随着温度的升高而增大。通过灯丝的电流越大，其温度越高，阻值也越大。其伏安特性曲线如图 1-1 中曲线 b 所示。又如普通的半导体二极管也是一个典型的非线性电阻元件，当正向电压大于死区电压时，正向电流会随着正向电压

* 为与目前国内部分教材中电信号的符号相匹配，本教材中电压符号采用 u 表示。

的升高而急速上升。而其反向电压变化很大时，反相电流增加很小，几乎为零。可见，二极管具有单向导电性。但应注意：二极管的反向电压不应超过管子极限值，否则会使管子击穿损坏（热击穿，不可恢复）。其伏安特性如图 1-1 中曲线 *c* 曲线所示。稳压二极管是一种特殊的半导体二极管，它的正向特性与普通二极管类似，其特殊性就在于反向特性，当其两端所加反向电压从零开始增大时，反向电流很小，但当反向电压增大到某一数值时，其反向电流将会突然增大（此时的反向电压值即称该管的稳压值，此时的击穿为电击穿，可恢复），此后反向电压再继续增大时，管压降也基本维持不变。其伏安特性如图 1-1 中曲线 *d* 所示。

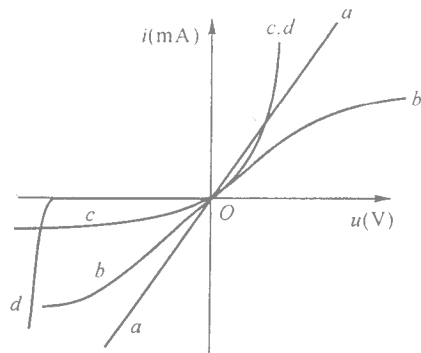


图 1-1 电阻元件的伏安特性曲线

总之，对于非线性电阻元件，其阻值会随着电压或电流的大小甚至方向而改变， $R=f(i)$ 或 $R=f(u)$ ，不是常数，在伏安特性曲线上可用曲线在某点切线的斜率表示该工作点的阻值。

2. 电压源外特性是对电源输出端电压与电流之间关系的描述。电压源的等效电路如图 1-2 所示，由恒定电动势 E_S 和内阻 R_S 串联组成。它的端电压 u 会随着输出电流 i 的变化而变化。 $u=E_S-iR_S$ 。当该电压源为理想电压源时， $R_S=0$ 其端电压 $u=E_S$ 就不会随着输出电流的变化而变化（即不会随着负载的阻值改变而改变），而实际的电压源（可用电压源的输出电压与其内阻 R_0 相串联的模型来表示）由于其内阻 $R_S=R_0 \neq 0$ ，输出端电压会随着负载电阻的减小即电流的增大而减小；电源内阻的值不同，其端电压下降的速率也不同，内阻越小，实际电压源越接近理想。故实际电压源内阻大小成为衡量电压源外特性的重要指标之一。但当实际电压源内阻 $R_S \ll R_L$ (R_L 为电路的负载)，仍可近似认为 $R_S=0$ ，电压源为理想的。否则认为 $R_S \neq 0$ 电压源不为理想的，此时处理问题时应考虑其内阻对外电路的影响。

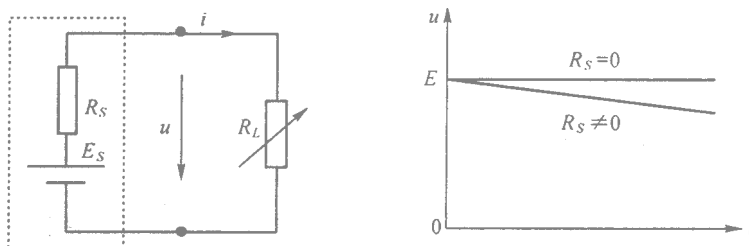


图 1-2 电压源及其外特性

四、实验内容及步骤

1. 线性电阻器伏安特性的测量

按图 1-3 接线 其中 E 由综合实验台的直流电压源提供。调节其输出电压，使之从 $0V$ 开始缓慢地增加 直到 $10V$ 注意电压表 V 的数值 在表 1-1 中记录流过线性电阻器 R_L 的电流值。

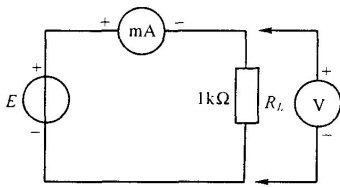


图 1-3

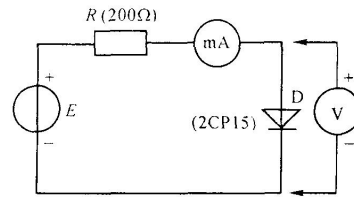


图 1-4

表 1-1

u (V)	0	2	4	6	8	10
i (mA)						

2. 半导体二极管伏安特性的测量

按图 1-4 接线, R 为限流电阻, 测量二极管 D 的正向特性及反向特性。注意, 测量二极管的正向特性时, 其正向电流不得超过 25mA 正向压降可在 0~0.75V 之间取值。特别是在 0.5~0.75V 之间更应多取几个测量点。做反向特性实验时, 只需将图 1-4 中的二极管反接, 其反向电压可加到 30V 左右。

(1) 正向特性实验

调节电压源的输出电压, 使电压表读数从 0 开始慢慢增加, 同时观测电流表的读数不得超过 25mA, 将不同电压下的电流值记录在表 1-2 中。

表 1-2

u (V)	0	0.2	0.4	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75
i (mA)									

(2) 反向特性实验

将二极管反接, 重复上述测试, 根据二极管两端电压, 测试电流值, 记录在表 1-3 中。

表 1-3

u (V)	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
i (mA)							

3. 稳压二极管伏安特性的测量

只需将图 1-4 中的二极管换成稳压二极管, 型号为 2CW51 重复上述实验 2 的测试, 即可得到稳压二极管的正反向特性, 测试结果分别记录在表 1-4 和表 1-5 中。

表 1-4

u (V)							
i (mA)							

表 1-5

u (V)							
i (mA)							